

# BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

## LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea  
22-23 giugno 2013

# ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA  
STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

## Il carsismo nel rilievo gessoso di Rocca di Entella (Sicilia occidentale)

CIPRIANO DI MAGGIO <sup>(1)</sup>, GIULIANA MADONIA <sup>(1)</sup>, VINCENZA MESSANA <sup>(2)</sup>, MARCELLO PANZICA LA MANNA <sup>(3)</sup>,  
MARCO VATTANO <sup>(1,4)</sup>

### RIASSUNTO

Con il presente contributo vengono descritti i risultati di uno studio geomorfologico condotto sulle forme carsiche dell'area di Rocca di Entella. Rocca di Entella costituisce un rilievo isolato localizzato nel settore nord-occidentale dei Monti Sicani (Sicilia occidentale), nella Valle dell'Alto Belice. Questo rilievo è costituito da una successione di unità prevalentemente gessose del Messiniano superiore che giacciono in discordanza su terreni silico-clastici del Tortoniano superiore-Messiniano inferiore. L'assetto geomorfologico dell'area è il risultato del modellamento operato da differenti processi morfogenetici che hanno dato origine a forme del rilievo influenzate da fattori lito-strutturali e da fenomeni di sollevamento tettonico. Data la natura gessosa delle rocce affioranti, il carsismo è piuttosto diffuso e si manifesta con lo sviluppo di forme superficiali e sotterranee. Le prime consistono principalmente in forme di piccole dimensioni (karren) e depressioni di tipo dolina, presenti sulla porzione sommitale del rilievo; le seconde in numerose cavità fra le quali quella di maggiore sviluppo e interesse è la Grotta di Entella, motivo di istituzione di una riserva naturale da parte della Regione Siciliana. Grotte di modesta estensione sono impostate in corrispondenza di fratture e trincee, lungo la zona di testata di una frana di scorrimento rotazionale multiplo di roccia.

### ABSTRACT

The results of a geomorphological study performed on karst features of the Rocca di Entella gypsum area are described. Rocca di Entella is a hill located in the north-western sector of Sicani Mountains (western Sicily), within the Alto Belice Valley. The relief consists mainly of an Upper Messinian succession of gypsum units which lie in disconformity on Lower Messinian-Upper Tortonian siliciclastic rocks. The geomorphology of the area is governed by the lithological and structural setting and by Quaternary tectonic uplifting. These causes influenced the morphogenetic processes creating specific landforms. Because of the gypsum outcroppings, karst is quite widespread and displays many surficial and subterranean landforms. The first are mainly small-scale forms (karren) and solution dolines which occur on the summit area of the hill. As regards the underground landforms the most developed cave is Grotta di Entella which is the reason for the establishment of a nature reserve from the Sicilian Regional Government. Several small cavities follow fracture

planes and trenches along the head area of a large multiple rock rotational slide.

KEY WORDS: *geomorphology, gypsum karst, Sicily.*

### INTRODUZIONE

Il rilievo di Rocca di Entella (556 m s.l.m.) è localizzato nel settore nord-occidentale dei Monti Sicani (Sicilia occidentale), nella Valle dell'Alto Belice, poco a monte della confluenza tra il Fiume Belice Destro e il Fiume Belice Sinistro. Si tratta di un rilievo isolato di natura gessosa interessato da numerose forme carsiche superficiali e sotterranee, tra cui la Grotta di Entella che per le sue peculiarità morfologiche e speleogenetiche ha permesso, nel 1996, l'istituzione della Riserva naturale omonima da parte della Regione Siciliana che ne ha affidato la gestione al Club Alpino Italiano - Sicilia *Onlus*.

Per la sua conformazione e la sua strategica posizione geografica, tale rilievo ha rappresentato una conquista importante per tutte le popolazioni che, nei secoli, si sono succedute nella Sicilia occidentale. La sua sommità ospita i resti di *Entella*, città di origine elima e distrutta da Federico II nel 1246.

Pur essendo un sito di rilevanza archeologica, antropizzato sin da epoche remote, la Rocca di Entella riveste un ruolo importante dal punto di vista naturalistico-ambientale, soprattutto in un contesto comprensoriale notevolmente modificato dall'attività dell'uomo, benché a carattere tradizionale ed estensivo. La morfologia del rilievo consente uno stato di conservazione soddisfacente, soprattutto nell'ambiente rupicolo e nelle grotte, con la presenza di specie vegetali ed animali di rilevante interesse. Per tali peculiarità, nel 2000, il biotopo è stato riconosciuto quale SIC (Sito di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zona a Protezione Speciale) dalla Comunità Europea (ITA020042 *Rocche di Entella*).

Dal 2011 la Riserva Naturale Integrale "Grotta di Entella" fa parte della *Rete delle aree protette ricadenti in territori con presenza di rocce evaporitiche*, istituita dalla Regione Siciliana con il fine di promuovere lo studio, la conoscenza e la salvaguardia di questi ambienti, molto ben rappresentati in Sicilia (MADONIA *et alii*, in questo volume).

Nel presente lavoro verranno descritti i risultati di uno studio geomorfologico condotto sulle forme carsiche presenti.

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo, Italia

<sup>2</sup> R.N.I. "Grotta di Entella" - CAI Sicilia onlus, Palermo, Italia

<sup>3</sup> Regione Siciliana - Dipartimento Regionale dell'Ambiente, Palermo, Italia

<sup>4</sup> ANS Le Taddarite, Palermo, Italia

## ASSETTO GEOLOGICO

Rocca di Entella è ubicata alle propaggini nord-occidentali dei Monti Sicani, costituendo un segmento della catena siciliana. In quest'area affiorano terreni di copertura terziari depositi originariamente in bacini satellite, che si sono successivamente scollati e incorporati nei settori frontali della catena a partire dal Messiniano superiore. Questi terreni hanno un'età compresa tra il Tortoniano superiore e il Pliocene inferiore e sono costituiti principalmente da depositi terrigeni di natura argillo-marnosa, da evaporiti e, in minima parte, da calcari marnosi. Complessivamente essi costituiscono unità superficiali di *roof thrust* che si sovrappongono ai duplex carbonatici mesozoici derivanti dalla deformazione di rocce appartenenti ai domini paleogeografici di piattaforma saccense e trapanese (Unità Carbonatiche Esterne) (VITALE, 1995; CATALANO *et alii*, 1996).

Rocca di Entella è formata prevalentemente da una successione di unità gessose riferibili alla formazione Cattolica (Messiniano superiore) del Gruppo Gessoso-solfifero (CATALANO *et alii*, 2010). Tale successione è costituita da almeno dieci cicli gessosi separati da sottili livelli carbonatici. Dal basso verso l'alto i primi due cicli sono costituiti da gesso selenitico massivo con cristalli fino a 1 m di lunghezza; dal terzo ciclo il gesso massivo è seguito da gesso selenitico stratificato e dal sesto ciclo al top del gesso selenitico stratificato si rinviene gesso selenitico ramificato. La parte più alta della successione contiene progressivamente più livelli di calcilutite e il decimo ciclo è verosimilmente formato da calcari massivi spessi almeno 2 m (ROVERI *et alii*, 2006). Esigui affioramenti non cartografabili di gesso detritico e gesso microcristallino sono presenti in alcuni settori del rilievo. La successione gessosa poggia su depositi silico-clastici della formazione Terravecchia (Messiniano inferiore-Tortoniano superiore) ed è ricoperta da calcari-marnosi dei Trubi (Pliocene inferiore), presenti solo in piccoli lembi. Terreni più recenti affiorano nelle immediate vicinanze dell'area studiata e sono costituiti da alternanze di depositi clastici di ambiente torbiditico e costiero (formazione Marnoso Arenacea del Belice, Piacenziano-Gelasiano) e da arenarie e sabbie di mare basso (formazione Agrigento, Santerniano) (DI STEFANO & VITALE, 1993; DI STEFANO *et alii*, 2011). I depositi quaternari continentali presenti nell'area sono costituiti da prodotti eluviali e depositi colluviali olocenici non cementati, spessi da circa 50 cm a 3 m, con livelli di clasti spigolosi e/o arrotondati, cocci di vasellame e abbondante matrice terrosa.

I principali sistemi di faglie sono costituiti da: faglie inverse ad alto angolo, orientate in direzione NO-SE, ENE-OSO, ONO-ESE e N-S, che hanno determinato contatti laterali tra i gessi e le litologie argillo-marnose della formazione Terravecchia; faglie inverse con direzione NO-SE e NNE-SSO, che interessano le unità gessose e che hanno determinato la sovrapposizione del settore nord-orientale del rilievo di Rocca di Entella rispetto alle porzioni meridionale, orientale e più settentrionale. Tali faglie, in accordo con i dati di letteratura riferiti ad aree contermini (VITALE, 1995), sono verosimilmente riconducibili agli eventi compressivi del Messiniano superiore e del Pliocene inferiore.

## ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico dell'area è il risultato del modellamento operato da differenti processi morfogenetici che hanno dato origine a svariate forme del rilievo controllate dalla struttura. In generale, è possibile individuare due distinti settori, ognuno dei quali contrassegnato da uno stile geomorfologico definito da una peculiare associazione di forme: il rilievo gessoso di Rocca di Entella, caratterizzato da morfologie riconducibili principalmente a erosione selettiva (Fig. 1) e carsismo, caduta di detrito, crolli, dilavamento e scorrimenti traslativi o rotazionali multipli; le pendici argillo-marnose disuniformi e debolmente inclinate, contrassegnate da forme dovute soprattutto a processi fluviali, dilavamento, soliflusso, colamenti e scorrimenti rotazionali singoli (Fig. 2).

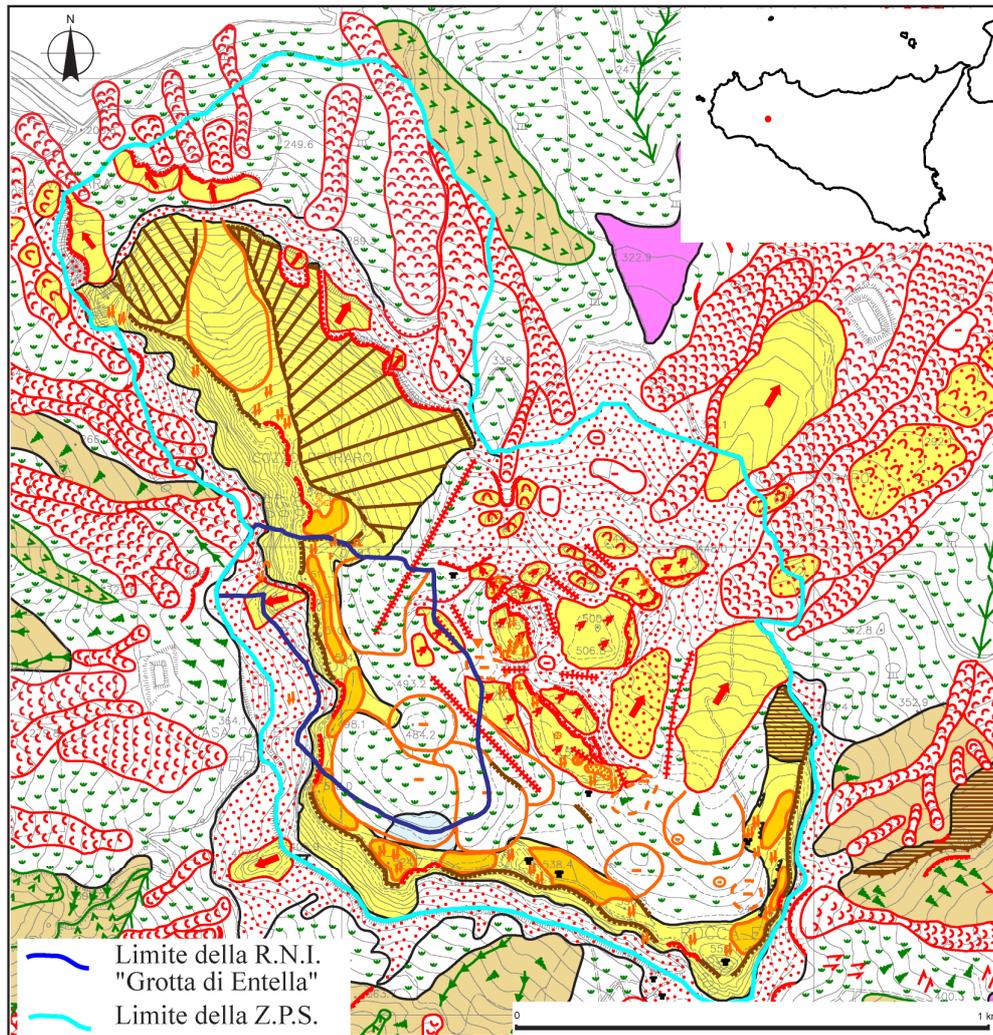
Rocca di Entella costituisce un rilievo isolato bordato da scarpate di linea di faglia obsequenti, alte fino a 120 m e a tratti degradate. Questo rilievo ha avuto origine a seguito di processi di approfondimento fluviale che hanno essenzialmente interessato le aree circostanti al rilievo, impostate in rocce argillose facilmente erodibili, e risparmiato l'area in esame impostata in rocce gessose più resistenti.



Fig. 1 – Il rilievo isolato di Rocca di Entella bordato da scarpate di linea di faglia obsequenti a tratti degradate.

La presenza di rocce resistenti (gessi) intercalate fra rocce facilmente erodibili (unità a componente argillosa della formazione Terravecchia e dei Trubi) ha inoltre consentito lo sviluppo di fenomeni di inversione del rilievo che hanno portato alla formazione di un alto topografico (la Rocca di Entella) in corrispondenza di un'area di basso strutturale (Fig. 1; blocco ribassato da faglie – cfr. Vattano, 2008).

Nel settore nord-orientale l'esumazione, alla base di questo rilievo, di un piano di contatto tra gessi e depositi argillosi sottostanti ha favorito l'insorgere di una grande frana che si diparte dalle aree sommitali del rilievo, fino a raggiungere il fondovalle, per una lunghezza complessiva SO-NE di circa 1.5 km. Si tratta di un movimento complesso con profondità massima di diverse decine di metri, di tipo scorrimento rotazionale multiplo di roccia con masse gessose localmente interessate da scorrimenti traslativi in blocco, che evolve a colata di terra/detrito nelle zone medio-terminali (Figg. 2, 3).



**LEGENDA**

**Litologie del substrato**

- Calcarei marnosi bianchi (fm Trubi), **Pliocene inf.**
- Unità evaporitica, **Messiniano sup.**
- Argille, marne argillose con sabbie e orizzonti arenacei (Fm Terravecchia), **Tortoniano sup. - Messiniano inf.**

**Forme del rilievo**

*Forme a controllo strutturale*

- Versante di linea di faglia
- Scarpata di morfoselezione
- Superficie strutturale inclinata

*Forme legate all'azione della gravità*

- Scarpata di frana
- Trincea
- Depressione chiusa
- Area interessata da soliflusso
- Corpo di frana di scorrimento rotazionale attivo
- Corpo di frana di scorrimento traslativo di roccia in blocco
- Corpo di frana di scorrimento traslativo di blocchi
- Blocco interessato da scorrimento rotazionale multiplo
- Blocco interessato da colamento
- Detrito coinvolto nei movimenti franosi
- Corpo di frana di colamento

- Detrito di versante con massi di crollo

*Forme legate all'azione delle acque superficiali*

- Fondo di valle a V
- Solchi e rivoli
- Area interessata da dilavamento diffuso
- Deposito colluviale sciolto a luoghi pedogenizzati. Olocene.

*Forme carsiche*

- Dolina
- Dolina dal contorno non definito
- Dolina aperta
- Dolina di crollo
- Spianata carsica
- Area interessata da karren
- Bolla di scollamento
- Area interessata da dorsali di compressione
- Inghiottoio
- Grotta

*Forme poligeniche e antropiche*

- Glacis di erosione in roccia tenera
- Area di interesse archeologico
- Orlo di scarpata di cava inattiva

Fig. 2 – Carta geomorfologica e localizzazione del rilievo di Rocca di Entella.

La zona di testata della frana è contrassegnata dalla presenza di scarpate di distacco e di trincee ad andamento NO-SE, parzialmente riempite da detriti e suoli rimaneggiati, coincidenti verosimilmente con antichi piani di faglia su cui si è realizzato il sollevamento del settore nord-orientale del rilievo; il fianco sinistro (settore NO) del corpo di frana appare delimitato da una trincea ad andamento NNE-SSO coincidente anch'essa con una faglia.



Fig. 3 – La frana di scorrimento rotazionale multiplo lungo il versante nord-orientale di Rocca di Entella.

I versanti argillo-marnosi sono caratterizzati da forme di ruscellamento areale e concentrato, da diffusi movimenti franosi riconducibili principalmente a movimenti di tipo colamento, e da vallecicole a V o a conca. Le valli a fondo piatto, dovute alla presenza di pianure alluvionali lungo il fondovalle, si hanno in corrispondenza del corso d'acqua principale (Fiume Belice) o in modesti e discontinui tratti dei corsi d'acqua minori. Piccoli lembi di *glacis* di erosione in roccia tenera sono presenti a diverse quote lungo i versanti a sud, a est e a nord-est della Rocca di Entella.

## FORME CARSICHE

Nella Rocca di Entella il carsismo si manifesta con lo sviluppo di forme sia superficiali che sotterranee.

Le forme carsiche superficiali sono principalmente costituite da karren e da depressioni di tipo dolina. Le cavità sotterranee sono rappresentate sia da grotte di soluzione s.s., sia da cavità impostate lungo fratture connesse al movimento franoso del settore nord-orientale del rilievo.

### I KARREN

I karren sono ampiamente diffusi in tutta l'area e si sviluppano con una vasta gamma di tipologie, in relazione alle peculiarità litologico-strutturali delle rocce presenti. Per una loro descrizione si è fatto riferimento alla classificazione proposta da MACALUSO & SAURO (1996), MACALUSO *et alii* (2001) e agli studi condotti da FORTI (1996). Si distinguono: microforme a "controllo cristallino", influenzate dalle dimensioni e dalla struttura dei cristalli di gesso; microforme, in cui almeno due dei tre parametri dimensionali (es.: larghezza

e profondità) sono dell'ordine di uno o pochi millimetri; piccole forme, in cui due dei tre parametri dimensionali (lunghezza, larghezza, profondità) sono dell'ordine dei centimetri e dei decimetri ma, generalmente, inferiori al metro.

Le microforme a controllo cristallino sono ben rappresentate sugli esigui affioramenti di gesso di neoformazione a grandi cristalli. Questi karren possono derivare da particolari tipi di nanoforme e la loro origine è strettamente controllata dalla struttura dei cristalli di gesso, cui contribuiscono la pendenza delle superfici e la solubilità intrinseca del gesso stesso. In particolare, sono stati individuati: depressioni di soluzione, karren a zig-zag, solchi rettilinei paralleli al piano di geminazione e stretti pinnacoli (Fig. 4; cfr. FORTI, 1996).



Fig. 4 – Stretti pinnacoli a controllo cristallino e micinacri legati all'impatto di gocce di pioggia su cristalli di gesso di neoformazione.

Le microforme si sviluppano essenzialmente sul gesso detritico a granulometria fine e sul gesso microcristallino. Nell'area di studio esse, pertanto, sono poco diffuse, in relazione alla esiguità di tali affioramenti, presenti solamente nel settore orientale e in quello nord-occidentale del rilievo. Si tratta essenzialmente di microsolchi rettilinei o quasi rettilinei, aventi larghezze dell'ordine degli 1-2 mm, lunghezze fra pochi centimetri e qualche decimetro e profondità inferiori ai 2 mm, associati in fasci con disposizioni sub-parallele e talvolta impostati in corrispondenza di karren di maggiori dimensioni. Su alcune superfici si osservano anche delle "microcrestine", minute dorsali larghe meno di 1 mm o intorno al millimetro e lunghe fra pochi millimetri e qualche centimetro. Su alcune di esse si elevano punte aciculari sottili ed aguzze (cfr. MACALUSO *et alii*, 2001).

Nella Rocca di Entella i karren maggiormente diffusi sono rappresentati dalle piccole forme. In particolare, sono stati riconosciuti: scannellature, solchi, depressioni di tipo vaschetta, forme di soluzione selettiva, montagnole e recinti anulari da licheni, spianate di soluzione che per le loro dimensioni potrebbero rientrare nella categoria delle mesoforme.

Le scannellature interessano superfici nude di gesso selenitico a piccoli cristalli (1-2 cm) e nella maggior parte dei casi si sviluppano in complessi paralleli lungo mini versanti

sub-verticali. L'origine delle scannellature a sviluppo verticale può essere legata a flussi prolungati di decantazione; nel caso specifico tali flussi sono favoriti o dalla presenza di banconi di gesso sovrastanti le pareti e protesi verso l'esterno, tali da permettere la decantazione lenta dell'acqua verso il basso, ovvero per la presenza di tasche di suolo sommitali, con la funzione di rilasciare l'acqua di imbibizione molto lentamente. Le scannellature sono state individuate sia lungo la scarpata orientale del rilievo, sia nel settore sud-orientale dell'area sommitale di Rocca di Entella, sia nelle sue zone orientali lungo le pareti di piccoli fronti di cava. In quest'area, in corrispondenza di blocchi di gesso che costituiscono il muro di un granaio ellenistico portato alla luce dagli scavi archeologici qualche anno addietro, si sono generate piccole scannellature parallele a sviluppo verticale a testimonianza dell'alta velocità di soluzione della roccia gessosa (Fig. 5).



Fig. 5 – Piccole scannellature sub-verticali su blocchi di gesso portati alla luce da scavi archeologici.

In corrispondenza degli affioramenti di gesso selenitico a cristalli di medie dimensioni (5-10 cm) si sviluppano essenzialmente solchi. Laddove i versanti mostrano una certa acclività tali incisioni assumono l'aspetto di solchi a doccia, piuttosto rettilinei e paralleli tra loro, prendendo le sembianze di strette candele in corrispondenza di versanti sub-verticali. Su superfici meno inclinate, si sviluppano solchi meandriformi. Tra gli esempi più significativi vengono segnalati i solchi impostati sui grossi massi crollati presenti alla base della scarpata occidentale e lungo il corpo di frana nel settore nord-orientale. Sulla sommità di Rocca di Entella si sviluppano nell'area della testata della frana e lungo il versante settentrionale di Cozzo Petraro.

Oltre ai solchi di tipo libero è stata individuata la presenza di solchi di tipo coperto (Fig. 6), talvolta messi in luce da opere di scavo eseguite durante le indagini archeologiche che da anni vengono svolte sul rilievo. Si tratta di solchi che, rispetto alle forme analoghe di tipo libero, si presentano smussati e con profili maggiormente arrotondati, essendo espressione del modellamento operato dalle soluzioni all'interfaccia suolo-roccia prima che si sia verificata l'asportazione del suolo. Forme esemplari interessano gli affioramenti di gesso selenitico a cristalli centimetrici, presenti sulla sommità del

rilievo, nell'area orientale. Qui i solchi sono caratterizzati da una larghezza che raggiunge i 40 cm, da una profondità di 50-60 cm e da una lunghezza dell'ordine del metro. Presentano un profilo trasversale a U, con un fondo ampio e delle creste particolarmente arrotondate. Sui solchi da carso coperto si sviluppano talora dei solchi a profilo svasato che risultano dall'evoluzione dei primi, in condizioni libere, a seguito dell'asportazione della copertura di suolo.



Fig. 6 – Solchi da carso coperto in affioramento a seguito di scavi archeologici.

Sugli affioramenti di calcare evaporitico sono abbastanza diffuse le vaschette di corrosione. Tra gli esempi più ragguardevoli si segnalano le forme presenti nel settore sud-occidentale della Rocca. Si tratta di piccole depressioni chiuse dal contorno ellittico e/o irregolare, profonde da qualche centimetro a diversi decimetri e con diametri medi compresi tra 5 cm e 30 cm. Alcune di queste si presentano aperte e dotate di emissario.

Depressioni di tipo vaschetta sono presenti e diffuse in gran parte del gesso macrocristallino affiorante. Si tratta di piccole conche chiuse dal fondo arrotondato e dal contorno irregolare, profonde da pochi centimetri a circa 1 dm. Esse sono ben visibili nel settore nord-orientale della Rocca di Entella, lungo il versante settentrionale di Cozzo Petraro e in corrispondenza dei grossi massi crollati presenti alla base della scarpata occidentale.

Sono state individuate diverse tipologie di karren connessi a processi di soluzione selettiva, tra cui: montagnole e recinti anulari da licheni, legati all'azione protettiva operata da colonie di licheni crostosi nei confronti della superficie rocciosa sottostante; mini rilievi su gesso alabastrino, influenzati dalla presenza dei livelli calcareo-marnosi intercalati ai gessi. Si tratta di piccoli spuntoni gessosi, alti circa 1-2 cm, sormontati da esigui lembi di calcare fortemente degradato (Fig. 7). Tra le forme di soluzione selettiva, si segnala infine la presenza di cristalli di gesso di neoformazione in rilievo rispetto al resto dell'ammasso roccioso. La loro origine è da ricercare nei differenti processi di soluzione ad opera delle acque interstiziali, in relazione alla taglia cristallina. Nei casi di rocce eterometriche, infatti, la dissoluzione agisce in modo selettivo favorendo la soluzione dei cristalli di piccola taglia, rispetto a cui le acque circolanti

risultano sottosature, mantenendo integri i cristalli più grandi, nei confronti dei quali le acque interstiziali sono sovrasature (KLIMCHOUK, 1996).



Fig. 7 – Mini rilievi di erosione selettiva legati a mini coperture carbonatiche.

Sulle superfici gessose nude prive di copertura, sono spesso presenti particolari forme di degradazione, ascrivibili alla crosta di alterazione, intesa come il risultato dell'incremento di volume della massa rocciosa più prossima alla superficie per spessori variabili da pochi centimetri ad alcuni metri (MACALUSO & SAURO, 1998; FERRARESE *et alii*, 2002). Tra queste forme si possono osservare: piccole bolle di scollamento o tumuli, poligoni e dorsali da compressione.

Le bolle di scollamento sono di piccole dimensioni e intensamente degradate; nel settore nord-orientale della Rocca di Entella sono oramai presenti solo i bordi, perlopiù circolari e poco rialzati, e tessiture cipollari, a testimoniare l'esistenza di bolle oggi erose.

Accanto a queste forme si individuano piccole dorsali da compressione, strutture allungate con lunghezze da decimetriche a metriche ed altezze variabili da pochi centimetri a poco meno di 1 m, derivanti da aumenti di volume nettamente inferiori rispetto a quelli che contraddistinguono le bolle. Tali forme tendono a svilupparsi secondo schemi reticolari delimitando delle strutture poligonali messe in evidenza dal ripiegamento verso l'alto dei margini delle dorsali stesse.

## LE DOLINE

Oltre alle forme fin qui descritte, in superficie i fenomeni carsici si manifestano con lo sviluppo di doline di piccole e medie dimensioni che si presentano sia come forme chiuse sia come depressioni aperte. Le doline maggiormente sviluppate sono localizzate nella parte sud-occidentale del rilievo gessoso, dove si riconoscono quattro depressioni dal contorno non sempre ben definito (Fig. 8).

Procedendo da nord verso sud si individuano:

- una dolina dal contorno circolare avente un diametro medio di circa 130 m, una profondità massima di circa 16 m e minima di 9 m. Presenta un profilo asimmetrico, essendo il versante occidentale perlopiù verticale e quello orientale caratterizzato da una minore pendenza, e un fondo piatto ricoperto da prodotti eluviali e depositi colluviali;

- più a sud e con il perimetro in parte coincidente con la dolina sopradescritta, si sviluppa una depressione dal contorno ellittico allungato in direzione NO-SE. Il suo diametro massimo misura circa 350 m quello minimo 200 m, mentre la sua profondità varia da poco più di 30 m a qualche metro. Anche in questo caso il fondo è piatto e mascherato dalla coltre eluvio-colluviale che nei mesi piovosi favorisce la formazione di un ristagno di acqua;

- a est di quest'ultima dolina è presente un'altra cavità allungata in direzione NO-SE, anche se il suo perimetro non è sempre ben distinguibile, essendo le soglie nord-occidentale e occidentale appena accennate. Presenta un diametro massimo di circa 250 m e uno minimo di 150 m, una profondità massima di circa 35 m e quella minima di qualche metro;

- a oriente di questa è possibile osservare una stretta depressione a fondo concavo che si allunga in direzione NO-SE per circa 230 m e che si imposta in corrispondenza di una trincea che delimita il grande corpo di frana nel settore nord-orientale del rilievo.



Fig. 8 – Doline sull'area sommitale di Rocca di Entella.

Sono presenti inoltre alcune depressioni di minori dimensioni, con un perimetro mal definito da circolare a ellittico, diametri medi variabili da qualche metro fino a 100 m e profondità generalmente ridotte. Il fondo piatto è sempre mascherato da prodotti eluviali e depositi colluviali.

Da un punto di vista genetico le doline presenti a Rocca di Entella rientrano nella categoria delle doline di soluzione normale; tuttavia la presenza della coltre eluvio-colluviale, che maschera i punti assorbenti sul fondo, non permette di definire con certezza se si tratti di doline di depressione idrogeologica o di ricarica puntuale.

Sulla sommità di Cozzo Petrarò, nel settore meridionale, sono presenti tre piccole depressioni molto ravvicinate che mostrano un perimetro circolare, un diametro compreso tra i 3 e i 5 m e una profondità di circa 1.5 - 2 m. Si tratta di doline legate al crollo degli strati gessosi più superficiali, per la presenza di piccole cavità sotterranee, allargate dai processi di soluzione.

Nell'area si individuano, inoltre, alcune depressioni aperte che mostrano una soglia erosa. In particolare, nel settore sud-orientale del rilievo gessoso si sviluppa un'ampia depressione aperta verso nord che presenta un fondo piatto leggermente

degradante verso settentrione, parallelamente alla pendenza generale del versante. Il fondo è occupato da una spessa coltre eluvio-colluviale, a luoghi soggetta a fenomeni di dilavamento diffuso; sul fondo si apre una piccola cavità dal contorno perfettamente circolare, avente un diametro di circa 7 m e una profondità che non supera i 3 m. Un'altra ampia dolina aperta è visibile a SSE di Cozzo Petrarò; tale depressione presenta un fondo piatto che degrada dolcemente verso sud-est.

In merito alla presenza delle doline aperte, la loro origine può essere ricondotta al procedere nel tempo dei fenomeni di soluzione e, principalmente, dei processi di erosione regressiva e di arretramento dei versanti l.s. che hanno progressivamente prodotto l'apertura di tali depressioni.

Piccole depressioni carsiche sono infine presenti nel settore nord-orientale della Rocca di Entella, in corrispondenza dei grossi corpi rocciosi coinvolti nel movimento franoso descritto nel paragrafo precedente. Si tratta di depressioni che si impostano lungo le fratture da rilascio tensionale, in cui i processi di dissoluzione, agendo con maggiore efficacia, hanno prodotto un allargamento delle fratture stesse.

Tra le forme legate al carsismo, sulla parte sommitale del rilievo della Rocca di Entella, sono stati riconosciuti piccoli lembi di spianate carsiche. Si tratta di superfici sub-pianeggianti che non risentono di nessun tipo di controllo strutturale e che devono la loro formazione a processi di soluzione marginale durante fasi di stasi del livello di base carsico. Tali forme sono ben visibili nei settori occidentale e meridionale del rilievo.

#### LE CAVITÀ SOTTERRANEE

Per quanto riguarda le forme sotterranee la cavità di maggiore sviluppo e interesse è costituita dalla Grotta di Entella, motivo di istituzione della Riserva omonima. La grotta si apre alla base della scarpata occidentale di Rocca di Entella, ad una quota di circa 400 m s.l.m.; presenta uno sviluppo complessivo di circa 900 m e un dislivello positivo di 45 m. La cavità è costituita da almeno tre livelli di gallerie sub-orizzontali a diversa quota collegate da piccoli pozzi o zone di raccordo verticali (Figg. 9, 10). Le gallerie presentano un andamento prevalente in direzione NO-SE e secondariamente N-S, NE-SO e E-O, parallelamente alle principali discontinuità tettoniche dell'area.



Fig. 9 – Galleria con presenza di forme paragenetiche al tetto e di cospicui depositi di natura alluvionale incisi.

La Grotta di Entella costituisce una cavità risorgente inattiva che attualmente non presenta una connessione esplorabile con il punto di assorbimento. L'analisi del rilievo ipogeo e della topografia esterna permette di ipotizzare che l'antico inghiottitoio possa verosimilmente collocarsi all'interno di una delle doline poste sulla sommità del rilievo e che risulti mascherato dalla spessa coltre eluvio-colluviale.

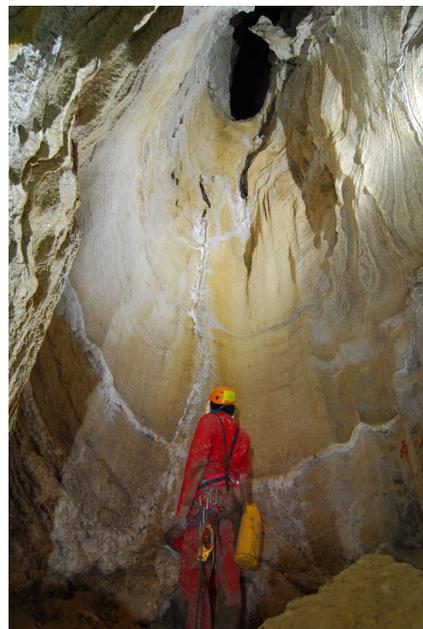


Fig. 10 – Pozzo cascata

La grotta è interessata da un ricco concrezionamento, sia gessoso (Fig.11) che carbonatico (CALAFORRA *et alii*, 2008), e da spessi depositi fisici di natura alluvionale che hanno anche favorito lo sviluppo di forme erosive, quali canali di volta e pendenti (Fig. 9).

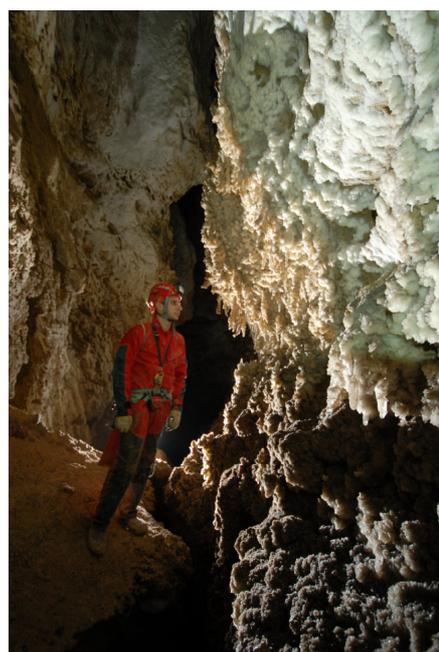


Fig. 11 – Esempi di speleotemi gessosi nella Grotta di Entella

Sulla Rocca di Entella sono inoltre presenti diverse cavità, ad oggi non esplorate, che si sviluppano lungo linee di frattura orientate prevalentemente in direzione SSO-NNE e NO-SE, nella zona di testata del movimento franoso che interessa il settore nord-orientale del rilievo (Fig. 12). Si tratta di modeste cavità di tipo pseudocarsico (nell'accezione di Cigna, 1983), la cui origine è legata alla presenza di discontinuità meccaniche della roccia e per le quali il processo carsico s.s. è secondario. Infine, sempre in prossimità della testata della frana si apre un inghiottitoio, dalla forma circolare, profondo una decina di metri, anch'esso non ancora esplorato.



Fig. 12 – Esempio di cavità pseudo carsica connessa al movimento franoso lungo il versante nord-orientale.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio condotto nell'area di Rocca d'Entella evidenzia la presenza di terreni riferibili all'unità evaporitica del Messiniano superiore, che poggiano su depositi argillo-marnosi della formazione Terravecchia (Tortoniano superiore – Messiniano inferiore) e che sono ricoperti da esigui lembi di calcari-marnosi dei Trubi (Pliocene inferiore). Le principali modificazioni tettoniche, databili verosimilmente al Messiniano superiore e al Pliocene inferiore, sono dovute a faglie inverse ad alto angolo che hanno determinato contatti laterali tra i gessi e le litologie argillo-marnose della formazione Terravecchia, e faglie inverse a più basso angolo che interessano le unità gessose e che hanno determinato la sovrapposizione del settore nord-orientale del rilievo di Rocca di Entella, rispetto alle porzioni meridionale, orientale e più settentrionale.

La comparazione dei dati geologico-strutturali e dei dati geomorfologici, permette di riconoscere una generale incongruenza tra strutture tettoniche da una parte e forme del rilievo e topografia dall'altra. L'alto topografico di Rocca d'Entella, impostato in corrispondenza di una depressione tettonica complessa, si è infatti prodotto a seguito di fenomeni di inversione del rilievo, per erosione selettiva. La selettività dei processi è qui testimoniata dalle scarpate di linea di faglia obsequenti che delimitano la

rocca, originatesi per l'esumazione di piani di faglia impostati su blocchi ribassati e costituiti da unità gessose più resistenti, conseguentemente al parziale smantellamento dei blocchi rialzati formati dai terreni facilmente erodibili della formazione Terravecchia. I grandiosi fenomeni di erosione selettiva ricostruiti nell'area studiata sono stati possibili grazie all'esistenza di una elevata energia del rilievo che si è prodotta nel tempo a seguito degli intensi processi di approfondimento; processi di approfondimento che, responsabili della genesi delle profonde vallate fluviali, si sono potuti sviluppare, e sono poi proseguiti, a causa del sollevamento tettonico regionale che ha interessato la Sicilia nel Quaternario e che tuttora è in atto (cfr. AGNESI *et alii*, 2000; DI MAGGIO, 2000).

Analogamente alle forme prodotte dalla morfoselezione, la grande frana di scorrimento/colamento dovrebbe essersi invece sviluppata successivamente alle fasi di incisione, quando le energie del rilievo sono aumentate. Occorre comunque evidenziare che, con l'aumento delle energie del rilievo, tutti i processi di denudazione (erosione idrica in genere e movimenti in massa) hanno verosimilmente subito un incremento nelle velocità di sviluppo.

Locali fasi di stazionamento del livello di base sono invece testimoniate dalla presenza dei glacis di erosione in roccia tenera e, probabilmente, anche dai fondovalle pianeggianti ricoperti da depositi alluvionali (nel caso in cui questi depositi poggino su un piano di erosione fluviale).

L'inizio dell'evoluzione geomorfologica si è comunque avuto con l'emersione dell'area studiata, verificatasi gradualmente con il progressivo sollevamento della catena, e iniziata nel Quaternario a partire da circa 1.5 MA. A supporto di questa ipotesi le seguenti considerazioni: nel Pliocene e all'inizio del Pleistocene inferiore la nostra area era ancora abbondantemente sommersa dalle acque, essendo interessata dalla deposizione dei Trubi (depositi di mare profondo) nel Zancleano e dei terreni di mare via via meno profondo della formazione Marnoso Arenacea del Belice durante il Piacenziano-Gelasiano; nel Santerniano (da 1.8 a 1.5 MA circa) il mare doveva ancora sommergere le aree che attualmente si rinvergono fino a 400 - 650 m s.l.m., come indicato dalla presenza dei coevi depositi di mare basso della formazione di Agrigento che, in zone immediatamente limitrofe alla nostra, si rinvergono a quelle quote (da ricordare che la quota più elevata del nostro rilievo è 556 m s.l.m.).

Il graduale ritiro del mare e la progressiva emersione sono quindi iniziate successivamente a 1.5 MA e, a partire da quella età, si è avuto lo sviluppo dei processi di smantellamento e approfondimento del rilievo, che sono poi proseguiti fino ai giorni nostri. Alle fasi di prevalente incisione si sono comunque alternate fasi di prevalente erosione "laterale" collegate ai periodi di stazionamento del livello di base.

Il carsismo nei gessi della Rocca di Entella deve quindi necessariamente inquadrarsi in questo contesto geomorfologico.

Se si considera un lasso di tempo necessario per l'asportazione delle coperture plio-quaternarie marine e

l'esumazione dei primi affioramenti gessosi (che potrebbe essere stimato in circa 0.5 MA) si potrebbe pensare che, nella nostra area, i processi carsici si siano sviluppati a partire da circa 1 MA.

Altri elementi vincolanti sono costituiti da: pozzi ipogei e inattivazione della risorgenza della Grotta di Entella che, nell'ambito del quadro morfologico generale, sarebbero indirettamente da collegare alle fasi di "approfondimento" del rilievo, per il conseguente abbassamento del livello di base carsico; spianate carsiche e gallerie sub-orizzontali della Grotta di Entella, indicative di locali fasi di stazionamento del livello di base carsico.

Sulla base delle considerazioni prima espresse, dei dati geologici e geomorfologici acquisiti e tenendo conto che, con la migrazione in profondità del livello di base carsico, il carsismo si è nel tempo sviluppato verso quote inferiori, è possibile ricostruire le tappe evolutive del carsismo di Rocca d'Entella, come di seguito descritte, a partire da circa 1 MA.

1) Genesi delle spianate carsiche sommitali di Rocca di Entella, situate attualmente a circa 500 m s.l.m. e preservatesi per la presenza di rocce conservative (gessi), in coincidenza di una prima fase di stazionamento del livello di base carsico (e del livello generale dell'erosione).

2) Esumazione dei piani di faglia ad alto angolo al contatto tra gessi e argille, con conseguente formazione delle scarpate di linea di faglia e progressiva individuazione del rilievo isolato di Rocca d'Entella per lo sviluppo in profondità delle stesse scarpate; l'erosione selettiva, responsabile dell'origine di queste forme, si è potuta innescare e sviluppare in profondità per l'abbassamento del livello di base generale dell'erosione e per il conseguente aumento delle energie del rilievo. Durante questa fase di abbassamento del livello di base, nei settori sommitali della Rocca probabilmente si originano le prime doline (che, nel tempo, tenderanno ad approfondirsi) e, in profondità, comincia a svilupparsi il sistema carsico ipogeo.

3) Origine delle gallerie ad andamento sub-orizzontale della Grotta di Entella, che si producono durante una ulteriore fase di stazionamento del livello di base; mentre i piccoli pozzi che raccordano le gallerie disposte su più livelli, sono indicativi di fasi di abbassamento del livello di base di modesta entità. Nello stesso tempo, durante questa fase di generale stazionamento, in superficie avviene la formazione dei glaciai di erosione in roccia tenera che si trovano alle quote più elevate.

4) Inattivazione del sistema carsico attualmente esplorato, conseguentemente alla progressiva e pressoché continua migrazione verso il basso del livello di base carsico, con lo stesso livello che, alla fine, si porterà fino all'attuale quota di fondovalle del Fiume Belice. Durante questa fase di abbassamento del livello di base (o, forse, durante quella precedente), il procedere dei processi di incisione comporta l'esposizione della superficie di contatto tra gessi e argille del settore nord-orientale della Rocca d'Entella, lo sviluppo di processi di scalzamento al piede e il conseguente innesco del movimento franoso qui presente. Successivamente, trincee e fratture nei blocchi franati vengono carsificate. È comunque probabile che, durante quest'ultima fase di progressivo abbassamento, si

siano avute altre fasi di stazionamento del livello di base carsico che abbiano prodotto gallerie o forme analoghe attualmente non conosciute, come sembrano indicare, in superficie, i lembi di glaciai attualmente situati a circa 240 m s.l.m.

Complessivamente, l'analisi delle forme di superficie e delle forme sotterranee, la preponderanza di morfologie di erosione, il prevalere dei processi di approfondimento e la migrazione verso il basso del livello di base generale dell'erosione, mostrano che le modificazioni geomorfologiche dell'area studiata sono da imputare ai movimenti di sollevamento tettonico quaternari.

## OPERE CITATE

- AGNESI V., DI MAGGIO C., MACALUSO T., ROTIGLIANO E., 2000 - *Genesis and evolution of Deep Seated Gravitational Slope Deformation phenomena in Western and Central Sicily*. Memorie della Società Geologica Italiana, 55: 363-371.
- CALAFORRA, J.M., FORTI, P. & FERNANDEZ-CORTES, A., 2008 - *Speleothems in gypsum caves and their paleoclimatological significance*. Environmental Geology, 53 (5): 1099-1105.
- CATALANO R., DI STEFANO P., NIGRO F. & VITALE F. P., 1993 - *Sicily Mainland and its offshore: a structural comparison*. In: Max M.D. & Colantoni P. Eds., Geological development of the Sicilian-Tunisian Platform, UNESCO report in Marine Science, 58: 19-24.
- CATALANO R., DI STEFANO P., SULLI A. & VITALE F. P., 1996 - *Paleogeography and structure of the Central Mediterranean: Sicily and its offshore area*. Tectonophysics, 260: 291-323.
- CATALANO, R., AVELLONE, G., BASILONE, L. & SULLI, A. Eds., 2010 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 607, Corleone*: 186 pp.
- CIGNA A.A., 1983 - *Sulla classificazione dei fenomeni carsici*. Le Grotte d'Italia, 11 (4): 497-505.
- DI MAGGIO C., 2000 - *Morphostructural aspects of the central northern sector of Palermo Mountains (Sicily)*. Memorie della Società Geologica Italiana, 55: 353-361.
- DI STEFANO P. ET ALII, 2011 - *Foglio Geologico 619 S. Margherita di Belice*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Regione Siciliana, [http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/619\\_SMARGHERITA\\_BELICE/Foglio.html](http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/619_SMARGHERITA_BELICE/Foglio.html)
- DI STEFANO P. & VITALE F.P., 1993 - *Carta geologica dei Monti Sicani Occidentali. Scala 1:50.000*. Dipartimento di Geologia e Geodesia. Università degli Studi di Palermo.
- FERRARESE F., MACALUSO T., MADONIA G., PALMERI A. & SAURO U., 2002 - *Solution and re-crystallization processes and associated landforms in gypsum outcrops of Sicily*. Geomorphology, 49: 25-43.
- FORTI P., 1996 - *Erosione rate, crystal size and exokarst microforms*. In: Fornos J.J. & Gines A. Eds., Karren landforms, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca: 261-276.

- HUTCHINSON J. N., 1988 - *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology, general report*. In: Bonnard C. Ed., Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 1: 3-35.
- KLIMCHOUK A., 1996 - *The dissolution and conversion of Gypsum and anhidrite*. In: Klimchouk A., Lowe D., Cooper A. & Sauro U. Eds., *Gypsum Karst of the World*, Int. J. Speleol., 25, (3-4): 21-36.
- MACALUSO T. & SAURO U., 1996 - *The Karren in evaporite rocks: a proposal of classification*. In: Fornos J.J. & Gines A. Eds., *Karren landforms*, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca: 277-293.
- MACALUSO T. & SAURO U., 1998 - *Aspects of weathering and landforms evolution on gypsum slopes and ridges of Sicily*. Suppl. Geogr. Fis. e Dinam. Quat., 3: T. 4, 91-99.
- MACALUSO T., MADONIA G., PALMERI A. & SAURO U., 2001 - *Atlante dei Karren nelle Evaporiti della Sicilia*. Quaderni del Museo Geologico G.G. Gemmellaro, 5, Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università degli Studi di Palermo: 1-143.
- MADONIA G., PANZICA LA MANNA M & VATTANO M., 2013 - *Trent'anni di ricerche carsologiche nelle evaporiti della Sicilia*. Atti del Congresso La ricerca carsologica in Italia, Frabosa Soprana (Cn) – Grotta di Bossea 22-23 giugno 2013.
- ROVERI M., LUGLI S., MANZI V., SCHREIBER B. C., CARUSO A., ROUCHY J. M., IACCARINO S. M., GENNARI R., VITALE F. P. & RICCI LUCCHI F., 2006 - *Clastic vs primary precipitated evaporites in the Messinian Sicilian basins*. Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 42: 125-199.
- VARNES D. J., 1978 - *Slope movement. Type and processes*. In: Schustel R. L. & Krizker R. J. Eds., *Landslides: analysis and controll*. Transp, Research Board, Comm. on Sociotechnical Systems, N. R. C., National Acad. of Sciences, Washington, 176 (Special Report): 11-33.
- VATTANO M., 2008 - *Evoluzione geomorfologica di aree carsiche nelle evaporiti della Sicilia centro-meridionale attraverso l'analisi delle relazioni tra forme carsiche ipogee e forme del rilievo di superficie*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Palermo: 250 p.
- VITALE F.P., 1995 - *Il segmento sicano della catena sud-tirrenica: bacini neogenici e deformazione attiva*. Studi Geologici Camerti, 2: 491-507.

